

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	廉 本宁 (りえん べんにん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 701 号
○授与年月日	2010 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Fatigue Behavior and Fracture Mechanism of High Strength Steels under Rotating Bending in Very High Cycle Regime (高強度鋼の超長寿命回転曲げ疲労挙動と破壊機構の解明)
○審査委員	(主査) 酒井 達雄 (立命館大学理工学部教授) 飴山 惠 (立命館大学理工学部教授) 上野 明 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

近年、地球資源の枯渇回避、環境負荷の低減、廃棄物低減等の観点から、機械構造物の長期有効利用が大きな課題になっており、製品の安全性確保のため従来対象にならなかった長寿命域での金属材料の疲労特性の解明が国際的に注目されている。本論文は、第 1 章においてこのような当該分野の背景と本研究の趣旨を要約した上で、第 2 章では特に超長寿命域の疲労試験を能率的に実施するために独自に開発・改良した疲労試験機の詳細が示されている。第 3 章では、高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)を用いた疲労試験結果について、表面起点型破壊および内部起点型破壊に対する S-N 曲線が重なった二重 S-N 特性として説明できることを明らかにしている。また、大量の疲労試験結果に対して、各破壊モードを結合した混合ワイブル分布による統計解析を行い、ギガサイクル領域の確率疲労特性(P-S-N 特性)を定量的に解析して、製品信頼性設計のための基礎データを与えている。第 4 章では、ニッケルクロムモリブデン鋼(SNCM439)についてギガサイクル疲労試験を実施し、上記二重 S-N 特性が高強度鋼の一般的特性であることを検証している。さらに、疲労寿命の 90% 以上を占める内部き裂の発生過程に関し、介在物周縁の結晶微細化および微細剥離現象をもとに、 \sqrt{area} 法を援用して仮想的なき裂進展過程に置換することにより内部起点型破壊の初期進展過程を定量化する独創的な方法を提案し、実験結果との整合性を確認している。第 5 章では、超清浄軸受鋼(SUJ2)を準備してギガサイクル疲労試験を行って、介在物のサイズや個数の分布と疲労特性の関係を詳細に調べ、清浄度を上げることで介在物寸法を小

小さくすることが、超長寿命域における内部起点型破壊の疲労寿命の著しい向上に結び付いていることを解明している。第6章は、第3章～第5章で得られた研究成果を本論文の結論として集約したものである。

<論文審査の結果の要旨>

本論文では、金属疲労の分野で近年国際的に注目が集まっている超高サイクル領域の疲労特性について、実験と理論の両面から詳細な検討が行われており、以下のとおり、学術的にも応用面でも極めて意義深い成果が収められている。第一の成果は、高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)を用いた超高サイクル疲労特性について、表面起点型破壊と内部起点型破壊に対するS-N曲線が重なった二重S-N特性として説明できることを示した上で、他機関のデータも含む大量の実験結果に対し、各破壊モードを結合した混合ワイブル分布による統計解析を行い、ギガサイクル域の確率疲労特性を定量的に明らかにしたことである。これは、産業界における製品の信頼性設計のための基礎データを与えるものであり高く評価される。第二の成果は、産業界で広く利用されている高強度鋼(SNCM439)についてギガサイクル疲労試験を実施し、上記の二重S-N特性が高強度鋼の一般的特性であることを検証するとともに、疲労寿命の90%以上を占める内部き裂発生過程を丹念に調べ、介在物周縁の結晶微細化および微細剥離現象をもとに、 \sqrt{area} 法を援用して仮想的なき裂進展過程に置換することにより内部起点型破壊の初期進展過程を定量化する独創的な方法を提案している。これまで定量評価法が確立されていなかった内部き裂の発生過程に対し初めて明確な定量評価法を提案したもので、画期的な業績と評価される。第三の成果は、金属組織学的な観点から、高強度鋼の疲労強度や疲労寿命を改善するための主要因子を調べ、鉄鋼材料の清浄度を上げることで介在物のサイズや分布特性が変化するが、介在物の個数でなくサイズを小さくすることが内部起点型破壊の疲労寿命改善の主要因子であることを解明した点である。これらの成果は、当該分野における学術の発展と産業界における製品の長期安全性確保の両面で大きな貢献が期待される。

本論文の審査に関して、2010年10月27日(水)15時00分～16時05分イーストウイング4階機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 廉本宁氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、内部き裂発生メカニズムや微小き裂進展特性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。